

УДК 546:546.23:544.344:54-161.6(546.56+546.81+546.19)

Олена Климович
Ольга Змій
Іван Алексеюк

Фазові рівноваги та склоутворення в системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$

Методами рентгенофазового й рентгеноструктурного, диференційного термічного аналізів та виміром мікротвердості досліджено фазові рівноваги у квазіпотрійній системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$. Побудовано ізотермічний переріз досліджуваної системи при 510 К, встановлено область склоутворення та вивчено властивості стекол.

Ключові слова: квазіпотрійна система, халькогенідні напівпровідники, фазові рівноваги, склоутворення.

Постановка наукової проблеми та її значення. Серед найрізноманітніших напівпровідникових матеріалів важливе місце для оптоелектроніки та нелінійної оптики займають складні халькогеніди елементів Ib, IVa та Va груп Періодичної системи [1; 16]. Кристалічний диселенід олова є цікавим і одночасно, складним об'єктом для дослідження [5]. Значний інтерес складають халькогенідні стекла на основі As_2Se_3 , які технологічно просто отримати, стійкі до агресивного середовища, радіації та мають широкі можливості зміни властивостей у межах області склоутворення [6; 7].

Тому синтез, дослідження взаємодії компонентів Cu_2Se , SnSe_2 , As_2Se_3 та встановлення області склоутворення – важливий крок у пошуку матеріалів для сучасної техніки.

Аналіз досліджень цієї проблеми. Бінарні сполуки Cu_2Se , SnSe_2 й As_2Se_3 плавляться конгруентно при 1421 К [1], 948 К [8] та 643 К [9] відповідно і можуть виступати компонентами в досліджуваній квазіпотрійній системі.

Дослідженню фазових рівноваг у системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2$ присвячено роботи [4; 12; 13; 17; 24], результати яких добре узгоджуються. У системі встановлено існування сполуки Cu_2SnSe_3 , яка плавиться конгруентно при 963 К [24], 968 К [12; 13] і володіє поліморфними перетвореннями при 853 та 818 К [12].

Діаграма стану квазіподвійної системи $\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$ вивчалась у роботі [28]. Система евтектичного типу з координатами евтектичної точки 19 мол. % SnSe_2 і 640 К.

Відомості про кристалохімічні характеристики бінарних і тернарних сполук наведено в таблиці 1.

Систему $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{As}_2\text{Se}_3$ досліджували багато авторів [10; 11; 18; 20]. Результати досліджень відрізняються між собою. Згідно з [10; 11] у системі існує дві проміжні фази: δ -фаза на основі сполуки Cu_3AsSe_3 , що утворюється за перитектичною реакцією $L + \beta\text{-Cu}_2\text{Se} \rightarrow \text{Cu}_3\text{AsSe}_3$ при 773 К, та сполука CuAsSe_2 , що також має інконгруентний характер плавлення й існує в інтервалі температур 648–723 К. Згідно з [18] у системі утворюється три сполуки: CuAsSe_2 , $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{Se}_5$, Cu_3AsSe_3 . Сполука CuAsSe_2 плавиться інконгруентно при 683 К, $\text{Cu}_4\text{As}_2\text{Se}_5$ також утворюється за перитектичною реакцією при 746 К, сполука Cu_3AsSe_3 існує в інтервалі температур 696–796 К і також плавиться інконгруентно. Автори роботи [20] стверджують, що в цій системі існує лише одна сполука – CuAsSe_2 , яка плавиться інконгруентно при 725 К.

Склоподібні сплави перерізу $\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$ можуть бути отримані в інтервалі 0–25 мол. % SnSe_2 [7]. До складу склоподібних сплавів системи $\text{Cu}-\text{As}-\text{Se}$ може бути введено 20–25 ат. % Cu (25 ат. % Cu відповідає складу CuAsSe_2) [7]. Згідно з [15] у системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{As}_2\text{Se}_3$ область склоутворення становить 0–40 мол. % Cu_2Se . Зважаючи на це, очікуємо існування області склоутворення у квазіпотрійній системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$.

Матеріали й методи. Для дослідження фазових рівноваг у квазіпотрійній системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$ синтезовано 50 зразків на перерізах $\text{Cu}_2\text{SnSe}_3-\text{As}_2\text{Se}_3$, $\text{Cu}_2\text{SnSe}_3-\text{CuAsSe}_2$, А (24 % SnSe_2 76 % Cu_2Se)– As_2Se_3 та окремі зразки з області концентраційного трикутника; для встановлення області склоутворення синтезовано 60 сплавів. Сплави отримували прямим однократним температурним методом синтезу із простих речовин високого ступеня чистоти (Cu – 99,999 мас. %, Sn – 99,99 мас. %, Se – 99,997 мас. %, As – 99,9999 мас. %) у вакуумованих кварцових контейнерах. Максимальна температура синтезу становила 1170 К. Для отримання кристалічних сплавів гомогенізуючий відпал при 510 К проводили протягом 600 год, після чого зразки гартували у воду

кімнатної температури. Зразки для визначення меж склоутворення після витримки при максимальній температурі протягом 10 год із вібрацією загартовували у воду зі швидкістю 100 К/с.

Усі зразки досліджували методом рентгенофазового аналізу (ДРОН-4-13, $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -випромінювання). Для дослідження склоподібних зразків використовували диференційний термічний аналіз («Термодент Н307/1» із двокоординатним самописцем ПДА-1) та вимірювання мікротвердості (мікротвердометр Leica VMHT AUTO).

Таблиця 1

Кристалохімічні характеристики сполук системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$

Сполука	Пр. група	Періоди елементарної комірки			Джерела
		<i>a</i> , нм	<i>b</i> , нм	<i>c</i> , нм	
$\alpha\text{-Cu}_2\text{Se}$	$Fm\bar{3}m$	0,5764	–	–	[26]
$\alpha\text{-Cu}_2\text{Se}$	<i>тегр</i>	0,6808	–	0,6103	[2; 3]
$\alpha\text{-Cu}_2\text{Se}$	<i>ромб.</i>	0,4118	1,4064	2,0381	[14]
$\alpha\text{-Cu}_2\text{Se}$	<i>монокл.</i>	1,4087	2,0481 $\beta = 90^\circ 23'$	0,4145	[31]
$\alpha\text{-Cu}_2\text{Se}$	$Fm\bar{3}m$	0,5694	–	–	[37]
$\alpha\text{-Cu}_2\text{Se}$	$C2/c$	0,71379	1,23823 $\beta = 94,308^\circ$	2,73904	[21]
$\beta\text{-Cu}_2\text{Se}$	$Fm\bar{3}m$	0,5787	–	–	[37]
$\beta\text{-Cu}_2\text{Se}$	Cm	0,7115	1,234 $\beta = 108^\circ$	0,119	[29]
$\beta\text{-Cu}_2\text{Se}$	$Fm\bar{3}m$	0,5859	–	–	[21]
$\beta\text{-Cu}_{2-x}\text{Se}$	$Fm\bar{3}m$	0,5765	–	–	[14; 31]
SnSe_2	$P\bar{3}m1$	0,3811	–	0,6137	[19]
Cu_2SnSe_3	$F\bar{4}3m$	0,5696	–	–	[24]
Cu_2SnSe_3	$I\bar{4}2d$	0,568	–	1,137	[36]
Cu_2SnSe_3	<i>ромб.</i>	0,4028	0,5696	1,2084	[32]
Cu_2SnSe_3	Cc	0,65936	1,21593 $\beta = 108,56^\circ$	0,66084	[23]
Cu_2SnSe_3	Cc	0,69670	1,20493 $\beta = 109,19^\circ$	0,69453	[22]
Cu_2SnSe_3	Cc	0,69612	1,2043 $\beta = 94,97^\circ$	2,6481	[30]
As_2Se_3	$P2_1/n$	1,25035 $\alpha = 90,28^\circ$	0,9890	0,4277	[9]
As_2Se_3	$C2m$	1,337 $\alpha = 95^\circ$	0,373	0,931	[28]
As_2Se_3	$P2_1/c$	0,42835	0,99037 $B = 109,14^\circ$	1,27820	[34]
CuAsSe_2	$R3m$	0,405	–	1,972 $\gamma = 120^\circ$	[27]
CuAsSe_2	$F\bar{4}3m$	0,575	–	–	[27]
CuAsSe_2 ($\text{Cu}_7\text{As}_6\text{Se}_{13}$)	$R3$	1,4025	–	0,961 $\gamma = 120^\circ$	[35]

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. За результатами дослідження побудовано ізотермічний переріз системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{SnSe}_2-\text{As}_2\text{Se}_3$ при 510 К (рис. 1). Підтверджено існування двох тернарних сполук Cu_2SnSe_3 та CuAsSe_2 . Дифрактограма зразка складу Cu_2SnSe_3 проіндексована в кубічній сингонії, просторова група $F\bar{4}3m$, $a = 0,55690$ нм; дифрактограма сполуки CuAsSe_2 індексується як $\text{Cu}_7\text{As}_6\text{Se}_{13}$ (пр. гр. $R3$, $a = 1,4014$, $c = 0,9583$ нм).

Отримані дані добре корелюють із літературними даними [24; 36]. Тетрарних фаз у системі не виявлено. Розчинність на основі бінарних і тернарних сполук при температурі дослідження незначна.

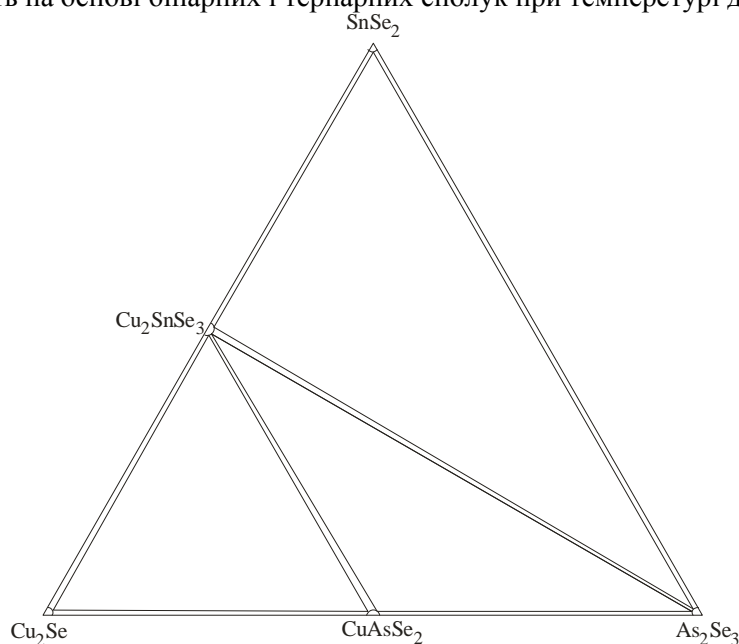


Рис. 1. Ізотермічний переріз квазіпотрійної системи Cu_2Se – SnSe_2 – As_2Se_3 при 510 К

Установлено, що двофазні рівноваги CuAsSe_2 – Cu_2SnSe_3 та Cu_2SnSe_3 – As_2Se_3 поділяють концентраційний трикутник на три поля трифазних рівноваг: $\text{Cu}_2\text{Se} + \text{Cu}_2\text{SnSe}_3 + \text{CuAsSe}_2$; $\text{CuAsSe}_2 + \text{Cu}_2\text{SnSe}_3 + \text{As}_2\text{Se}_3$ та $\text{Cu}_2\text{SnSe}_3 + \text{SnSe}_2 + \text{As}_2\text{Se}_3$ (рис. 1). Крім вищеназваних двофазних рівноваг, у системі існує ще п'ять: $\text{Cu}_2\text{Se} + \text{Cu}_2\text{SnSe}_3$; $\text{Cu}_2\text{SnSe}_3 + \text{SnSe}_2$; $\text{SnSe}_2 + \text{As}_2\text{Se}_3$; $\text{As}_2\text{Se}_3 + \text{CuAsSe}_2$; $\text{CuAsSe}_2 + \text{Cu}_2\text{Se}$.

За результатами дослідження склоподібних зразків, установлено область склоутворення в цій системі (рис. 2).

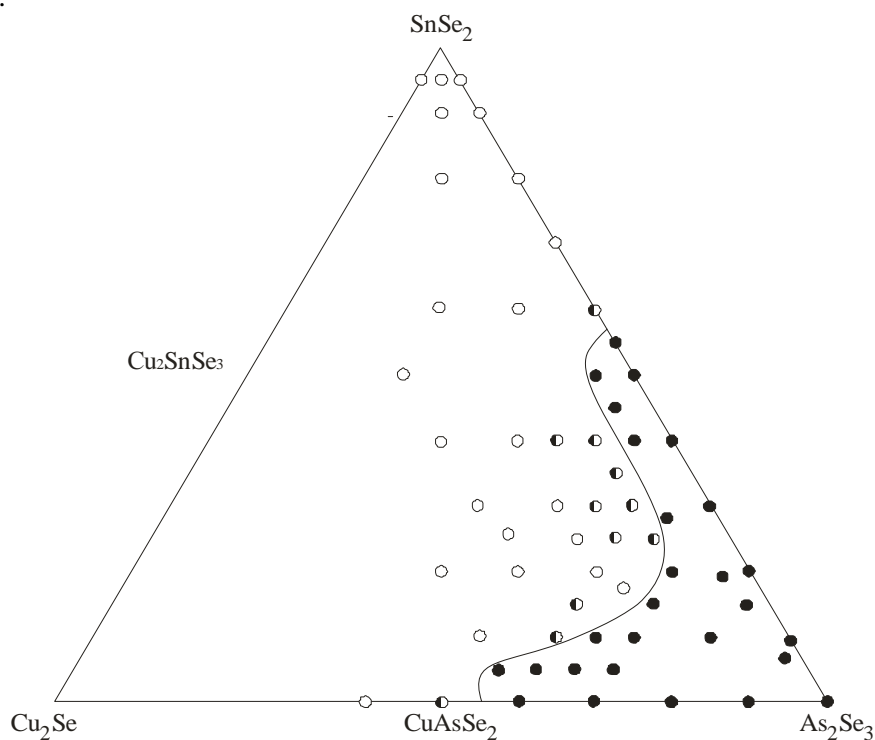


Рис. 2. Область склоутворення в системі Cu_2Se – SnSe_2 – As_2Se_3 :

● – скло, ◐ – склокристали, ○ – кристали

Критеріями склоподібного стану сплавів були: відсутність інтерференційних відбиттів на дифрактограмах при наявності «галло»; однорідність полірованої поверхні при перегляді її в металмікроскоп; характерний вигляд диференційних кривих нагрівання й охолодження.

Склоподібними виявилися зразки: у квазіподвійних системах $\text{SnSe}_2\text{--As}_2\text{Se}_3$ та $\text{Cu}_2\text{Se--As}_2\text{Se}_3$ до 55 мол. % SnSe_2 та 45 мол. % Cu_2Se відповідно; на перерізі $\text{Cu}_2\text{SnSe}_3\text{--As}_2\text{Se}_3$ при вмісті As_2Se_3 більше 65 мол. %.

Величина області склоутворення в цій системі менша порівняно з аналогічною германійвмісною [15], що пов'язано з посиленням металічного складника хімічного зв'язку при зміні диселеніду германію на диселенід олова.

Усі сплави в області склоутворення являли собою чорні блискучі монолітні злитки. Зразки поза областю склоутворення були сірого кольору, з боку SnSe_2 – шаруваті.

Для отриманих стекол визначено: мікротвердість (H), температури розм'якшення скла (T_g), кристалізації (T_c), плавлення закриталізованого сплаву (T_m) і на їх основі розраховано приведені температури склування ($T_{gr} = T_g/T_m$) і константи Грубі ($K_G = T_c - T_g/T_m - T_c$) (табл. 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики склоподібних зразків

№ з/п	Склад зразків, %			T_g, K		T_c, K	T_m, K	T_{gr}	K_G	$H, ГПа$
	As_2Se_3	Cu_2Se	SnSe_2	експ.	літ.					
1	50	0	50	504	500	608	776	0,64433	0,64286	1,65
2	60	0	40	491	–	605	770	0,63766	0,69091	1,58
3	70	0	30	480	–	604	738	0,65041	0,92537	1,56
4	80	0	20	471	–	609	705	0,66808	1,43750	1,52
5	90	0	10	464	–	603	681	0,68135	1,78205	1,47
6	100	0	0	455	460	602	648	0,70216	3,19560	1,44
7	66	6	28	498	–	607	715	0,69650	1,00925	1,59
8	70	10	20	486	–	602	718	0,67688	1,02655	1,58
9	77	4	19	480	–	603	707	0,67893	1,18269	1,55
10	83	3	14	478	–	609	702	0,68091	1,40860	1,56
11	70	30	0	459		608	684	0,67105	1,96052	1,66
12	91	2	7	460		603	682	0,67449	1,81016	–

Величини приведеної температури склування лежать у межах 0,64433–0,70216, що вказує на високу здатність сплавів до склоутворення. Значення T_{gr} і K_G із збільшенням умісту SnSe_2 зменшуються, що свідчить про зростання схильності до кристалізації.

Висновки. За результатами рентгенофазового, рентгеноструктурного й мікроструктурного аналізів побудовано ізотермічний переріз системи $\text{Cu}_2\text{Se--SnSe}_2\text{--As}_2\text{Se}_3$ при температурі 510 К. У системі підтверджено існування двох тернарних сполук – Cu_2SnSe_3 та CuAsSe_2 . Існування тетрарних сполук не встановлено.

Методами рентгенофазового, диференційного термічного й мікроструктурного аналізів визначено область склоутворення в системі $\text{Cu}_2\text{Se--SnSe}_2\text{--As}_2\text{Se}_3$ при гартуванні у воду кімнатної температури від 1170 К. Схильність сплавів до склоутворення зменшується при збільшенні вмісту Cu_2Se та SnSe_2 .

Джерела та література

1. Абрикосов Н. Х. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н. Х. Абрикосов, В. Ф. Банкаина, Л. В. Порейская. – М. : Наука, 1975. – 219 с.
2. Асадов Ю. Г. Получение монокристаллов α -модификации Cu_2Se / Ю. Г. Асадов, Г. Б. Гасымов, Г. А. Джабраилова // Журн. неорг. химии. – 1972. – Т. 8, № 12. – С. 2208.
3. Асадов Ю. Г. Структурные превращения в Cu_2Se / Ю. Г. Асадов, Г. А. Джабраилова, В. И. Насиров // Журн. неорг. химии. – 1972. – Т. 8. – № 6. – С. 1144–1146.
4. Бергер Л. И. Диаграммы состояния систем $\text{Cu}_2\text{Se--SnSe}_2$, $\text{Cu}_2\text{SnSe}_3\text{--SnSe}$ и $\text{Cu}_2\text{Se--SnSe}$ / Л. И. Бергер, Е. Г. Котина // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. – 1973. – Т. 9, № 3. – С. 368–370.
5. Блецкан Д. И. Кристаллические и стеклообразные халькогениды Si, Ge, Sn и сплавы на их основе : монография / Д. И. Блецкан. – Ужгород : Закарпаття, 2004. – 292 с.

6. Борисова З. У. Химия стеклообразных полупроводников / З. У. Борисова. – Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1972. – 247 с.
7. Виноградова Г. З. Стеклообразование и фазовые равновесия в халькогенидных системах. Двойные и тройные системы / Г. З. Виноградова. – М. : Наука, 1984. – 176 с.
8. Гаськов А. М. Изучение диаграммы состояния системы олово – селен / А. М. Гаськов, В. П. Зломанов, Ю. А. Сапожников, А. В. Новоселова // Вестн. МГУ. Сер. : Химия. – 1968. – Т. 10, № 4. – С. 48–51.
9. Дембовский С. А. Свойства кристаллов As_2Se_3 / С. А. Дембовский, А. А. Вайполин // Физика твёрдого тела. – 1964. – Т. 6, № 6. – С. 1768–1772.
10. Дембовский С. А. Фазовые равновесия и стеклообразование в системах $\text{As}_2\text{Se}_3\text{--Cu}_2\text{Se}$ и $\text{As}_2\text{Se}_3\text{--SnSe}$ (PbSe) / С. А. Дембовский, В. В. Кириленко, А. С. Хворостенко // Неорг. материалы. – 1971. – Т. 7, № 10. – С. 1858–1861.
11. Диаграмма состояния системы $\text{As}_2\text{Se}_3\text{--Cu}_2\text{Se}$ / А. С. Хворостенко, В. В. Кириленко, Б. И. Попов [и др.] // Неорг. материалы. – 1972. – Т. 8, № 10. – С. 73–79.
12. Зотова Т. В. Исследование фазового равновесия в системах Cu--Ge(Sn)--Se по разрезах $\text{Cu}_2\text{Se--Ge(Sn)Se}_2$ / Т. В. Зотова, Ю. А. Карагодин // Сб. науч. тр. по проблемам микроэлектроники. – Вып. XXI. – М. : МИЭТ, 1975. – С. 57–61.
13. Исследование разрезов системы Cu--Sn--Se / Л. И. Бергер, Е. Г. Котина, Ю. В. Обозненко [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. – 1973. – Т. 9, № 2. – С. 225–230.
14. Исследование фазовых соотношений в системе Cu--Se вблизи соединения Cu_2Se / А. Д. Бигвава, А. П. Жирнова, Р. Р. Швангирадзе [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. – 1980. – Т. 16, № 7. – С. 1292–1295.
15. Климович О. С. Склоутворення в системі $\text{Cu}_2\text{Se--GeSe}_2\text{--As}_2\text{Se}_3$ / О. С. Климович, О. Ф. Змій, І. Д. Олексюк // Наук. вісн. ВДУ. Хімічні науки. – 2007. – № 15. – С. 14–18.
16. Олексюк І. Д. Халькогенідні системи / І. Д. Олексюк. – Луцьк : Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2011. – 218 с.
17. Парасюк О. В. Система $\text{Cu}_2\text{Se--CdSe--SnSe}_2$ / О. В. Парасюк, Л. В. Піскач, І. Д. Олексюк // Журн. неорг. химии. – 1999. – Т. 44, № 8. – С. 1363–1367.
18. Blachnik R. Compounds in the System $\text{Cu}_2\text{Se--As}_2\text{Se}_3$ / R. Blachnik, G. Kurz // J. Solid State Chem. – 1984. – Vol. 55. – P. 218–224.
19. Busch G. Struktur, Elektrische und thermoelektrische Eigenschaften von SnSe_2 / G. Busch, C. Froehlich, F. Hulliger // Helvetica Phys. Acta. – 1961. – Vol. 34. – P. 359–368.
20. Cohen K. Description of the Cu--As--Se ternary system / K. Cohen, J. Rivet, J. Dugue // J. Alloys and Compounds. – 1995. – Vol. 224. – P. 316–329.
21. Crystal growth and structure of the semiconductor Cu_2SnSe_3 / G. Marcano, L. M. de Chalbaud, C. Rinén, G. Sánchez Pérez // Materials Letters. – 2002. – № 53. – P. 151–154.
22. Crystal structure of Cu_2Se / L. Gulay, M. Daszkiewicz, O. Strok, A. Pietraszko // Chem. Met. Alloys. – 2011. – Vol. 4. – P. 200–205.
23. Crystal structure refinement of the semiconducting compound Cu_2SnSe_3 from X-Ray powder diffraction data / G. E. Delgado, A. J. Mora et al. // Mater. Res. Bull. – 2003. – № 38. – P. 1949–1955.
24. Diagrammes de phases des systèmes $\text{SnSe--Cu}_2\text{Se}$ et $\text{SnSe}_2\text{--Cu}_2\text{Se}$. Phénomène ordre–désordre et conductivité thermique du composé Cu_2SnSe_3 / J. Rivet, P. Laruelle, J. Flahaut [et al.] // Bull. Soc. Chim. France. – 1970. – № 5. – P. 1667–1670.
25. Fernández B. J. Synthesis and characterization of some ternary compounds of the $\text{Cu}_2\text{--IV--VI}_3$ family / B. J. Fernández, J. A. Henao, J. M. Delgado // Cryst. Res. Technol. – 1996. – Vol. 36. – P. 65–68.
26. Heyding R. D. The copper/selenium system / R. D. Heyding // Can. J. Chem. – 1966. – Vol. 44. – P. 1233–1236.
27. Imamov R. M. An electron diffraction of the semiconductor CuAsSe_2 / R. M. Imamov, I. I. Petrov // Soviet Physics-Crystallography, Translated from Kristallografiya. – 1968. – Vol. 13, № 3. – P. 335–338.
28. Interaction of the $\text{Ag}_2\text{Se--SnSe}_2\text{--As}_2\text{Se}_3$ system / O. F. Zmiy, L. D. Gulay, T. A. Ostapyuk, O. S. Klymovych // Chem. Met. Alloys. – 2008. – № 1. – P. 115–119.
29. Kirkinskii V. A. A new polymorphic modification of arsenic selenide obtained at high pressures / V. A. Kirkinskii, G. V. Yakushev // Doklady chemistry, Translated from doklady akademii nauk SSSR. – 1968. – Vol. 182, № 5. – P. 896–898.
30. Milat O. Superstructural ordering in low-temperature phase of superionic Cu_2Se / O. Milat, Z. Vucic, B. Ruscic // Solid State Ionics. – 1987. – № 23. – P. 37–47.
31. Monoclinic $\text{Cu}_2\text{Se}_3\text{Sn}$ / L. D. Gulay, M. Daszkiewicz, T. A. Ostapyuk et al. // Acta Cryst. – 2010. – Vol. 66. – P. 158–160.
32. Murray R. M. The copper – selenium system at temperatures to 850 K and pressure to 50 kbar / R. M. Murray, R. D. Heyding // Can. J. Chem. – 1975. – Vol. 53, № 6. – P. 878–887.

33. Rivet J. Contribution a l'étude de quelques combinaisons ternaires sulfurees, seleni ées ou tellurees du cuivre avec les elements du groupe IV / J. Rivet // Ann. Chim. – 1965. – Vol. 10, № 5–6. – P. 243–270.
34. Sharma B. B. Stability of the Tetrahedral Phase in the $A_2B^{IV}C^{VI}_3$ Group of Compounds / B. B. Sharma, R. Ayyar, H. Singh // Phys. Stat. Sol. – 1977. – № 40. – P. 691–696.
35. Stergiou A. C. The Crystal Structure of Arsenic Selenide, As_2Se_3 / A. C. Stergiou, P. Rentzeperis // Z. Kristallographie. – 1985. – №. 173. – S. 185–191.
36. Takéuchi Y. The application of the partial Patterson method and the thirteenfold hexagonal superstructure of $Cu_7As_6Se_{13}$ / Y. Takeuchi, H. Horiuchi // Z. Kristallographie. – 1972. – № 135. – S. 93.
37. Ternäre Chalkogenide mit Silicium, Germanium und Zinn / H. Hahn, W. Klingen, P. Ness und H. Schulze // Naturwis. – 1966. – № 53. – S.18.
38. Yamamoto K. X-Ray Study of the Average Structures of the Cu_2Se and $Cu_{1.8}S$ in the Room Temperature and the High Temperature Phases / K. Yamamoto, S. Kashida // J. Solid State Chem. – 1991. – № 93. – P. 202–211.

Климович Елена, Змий Ольга, Олексеюк Иван. Фазовые равновесия и стеклообразование в системе $Cu_2Se-SnSe_2-As_2Se_3$. Методами рентгенофазового и рентгеноструктурного, дифференциального термического анализа и измерением микротвердости исследованы фазовые равновесия в квазитройной системе $Cu_2Se-SnSe_2-As_2Se_3$. Построено изотермическое сечение исследованной системы при 510 К, определена область стеклообразования, изучены свойства стекол.

Ключевые слова: квазитройная система, халькогенидные полупроводники, фазовые равновесия, стеклообразование.

Klymovych Olena, Zmiy Olga, Olekseyuk Ivan. The Phase Equilibria and the Glass Formation in the $Cu_2Se-SnSe_2-As_2Se_3$ System. Interaction of the components in the $Cu_2Se-GeSe_2-As_2Se_3$ system have been investigated using X-ray phase, differential thermal and mikrostructure analysis. Isothermal section of the investigated system have been constructed at 510 K, the glass formation region was determined, properties of glasses are studied.

Key words: Quasi-Ternary System, Chalcogenide Semiconductors, Phase Equilibria, Glass Formation.

Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки

Стаття надійшла до редколегії
01.06.2013 р.